



Memoria del proyecto final de carrera de Ingeniería de materiales titulado:

**DISEÑO, FABRICACIÓN Y CALIBRACIÓN DE UN DISPOSITIVO PARA LA  
CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS EN MATERIALES SECOS  
DE ALTA RESISTENCIA TÉRMICA Y BAJA TEMPERATURA DE USO.**

Realizado por:.....Carlos A. Ferriz Rodríguez

Dirigido por:

Dr. Santiago Suriñach Cornet, de  
la Universidad Autónoma de  
Barcelona (UAB).

Dra. Ana Inés Fernández, de la  
Universidad de Barcelona (UB).

15 de Junio de 2007 Bellaterra, Barcelona; España.

Diseño, fabricación y calibración de un dispositivo para la caracterización de las propiedades termofísicas de materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso según el método de “placa caliente guardada”, normas UNE 92-201-89 y UNE-EN 12664

## Resumen

El presente proyecto final de carrera contiene el diseño, fabricación y calibración de un conductímetro térmico para materiales secos de alta resistencia térmica, realizado dentro de los límites impuestos por la norma. Se describen detalles constructivos, de fabricación, parámetros a tener en cuenta, y pasos a seguir para la realización del ensayo y para la certificación de los resultados. También se ha realizado el calibrado del dispositivo, un presupuesto detallado de la fabricación, y un estudio de sostenibilidad tanto para el proyecto como para cada ensayo realizado.

El fundamento del método se basa en la aportación de un flujo térmico constante a dos probetas que rodean al foco caliente, para obtener un gradiente de temperatura en dichas probetas, en función de la potencia eléctrica aportada al foco caliente. El flujo térmico a través de las probetas se disipa en dos placas frías, situadas en las caras opuestas de las probetas. Se traza la curva de variación del coeficiente de conductividad térmica en función de la temperatura media de las probetas y se determina el coeficiente de conductividad térmica a una temperatura media deseada.

El dispositivo tiene medidas para ensayar una o dos probetas idénticas de 300 mm de lado como máximo con un rango de espesores de hasta 300 mm, consta de una unidad calefactora, dos unidades refrigerantes, una base dónde acoger todas las unidades y material refractario lateral para conseguir un gradiente a lo largo del eje z atravesando el espesor de las probetas.

Los sistemas de medida son termopares tipo K de gran precisión y sensibilidad; se han empleado dos configuraciones de termopares, una de lectura y una para la confirmación de las condiciones de ensayo.

Se realiza la calibración del dispositivo con probetas de espuma de poliuretano rígido, por ser un material ampliamente utilizado en aislamiento térmico.

También se realiza un presupuesto detallado de las materias primas, accesorios y energía necesarios para la fabricación del dispositivo, y de cada ensayo. Así como el estudio de la sostenibilidad “la huella ecológica” en el que se refleja el coste energético del proyecto como hectáreas de arboleda a plantar, tanto para que la realización del proyecto como por cada ensayo realizado.

Además se puede encontrar el procedimiento operatorio, la ficha técnica del dispositivo, un ejemplo de hoja de recogida de datos para el ensayo, y anexos para consultar planos constructivos y documentos relacionados con el desarrollo del proyecto.

## Índice

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>1. PREFACIO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
2.1. OBJETIVOS .....	7
2.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	7
<b>3. DESCRIPCIÓN Y FABRICACIÓN DEL DISPOSITIVO .....</b>	<b>9</b>
3.1. UNIDAD CALEFACTORA .....	12
3.1.1. Zona de medida .....	13
3.1.2. Zona de uniformización.....	14
3.1.3. Alimentación eléctrica .....	15
3.1.4. Fabricación de la unidad calefactora .....	16
3.2. UNIDAD REFRIGERANTE .....	20
3.2.1. Montaje de la unidad refrigerante .....	25
3.3. BASE Y REFRACTARIO .....	27
3.3.1. Montaje de la placa base y el aislante lateral.....	28
3.4. SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA .....	32
<b>4. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS .....</b>	<b>35</b>
4.1. GENERALIDADES .....	35
4.2. PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	35
4.3. MUESTRAS DE ENSAYO.....	36
<b>5. PROCEDIMIENTO OPERATORIO.....</b>	<b>37</b>
<b>6. CALIBRACIÓN .....</b>	<b>41</b>
<b>7. FICHA TÉCNICA DEL DISPOSITIVO .....</b>	<b>46</b>
<b>8. EXPRESIÓN DE LOS RESULTADOS Y ANÁLISIS DE ERRORES.....</b>	<b>48</b>
8.1. EXPRESIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA.....	48
8.2. ANÁLISIS DE ERRORES .....	48
<b>9. INFORME DEL ENSAYO .....</b>	<b>50</b>
<b>10. PRESUPUESTO .....</b>	<b>53</b>

<b>11. ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD .....</b>	<b>58</b>
11.1. INTRODUCCIÓN .....	58
11.2 IMPACTO AMBIENTAL POR CONSUMOS .....	59
11.2.1. <i>Fabricación del dispositivo</i> .....	61
11.2.2. <i>Funcionamiento</i> .....	62
11.2.3. <i>Movilidad</i> .....	63
11.3. RESULTADOS DEL ESTUDIO DE LA SOSTENIBILIDAD.....	63
<b>12. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>13. ÍNDICE DE PLANOS .....</b>	<b>66</b>
<b>14. SÍMBOLOS Y UNIDADES .....</b>	<b>67</b>
<b>15. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>69</b>
<b>16. AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>71</b>
<b>17. ANEXOS .....</b>	<b>72</b>

## 1. Prefacio

El presente proyecto final de carrera surge en apoyo a un proyecto que trata de demostrar la importancia del aislamiento térmico en la construcción para la mejora de la eficiencia energética de edificios, a fin de reducir costes por pérdidas energéticas y emisiones de CO<sub>2</sub>.

La construcción y uso de edificios genera en Cataluña más del 40% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y actualmente se constata, en un gran número de edificios, una tendencia al crecimiento del consumo de energía primaria proveniente de fuentes no renovables que puede reducirse mediante una mejora en el aislamiento térmico de las envolventes de los edificios. [1]

Los edificios incluyen aislamiento en su construcción por la disminución de consumo energético que esto conlleva. Este ahorro energético en calefacción y aire acondicionado se traduce directamente en una disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Cálculos teóricos preliminares constatan que un edificio típico de oficinas con aislamiento disminuye entre un 22 y un 52% sus emisiones de CO<sub>2</sub> anuales con respecto al mismo edificio sin ningún tipo de aislamiento. [1]

- Descripción del estado de la tecnología en España y en el extranjero

El Decreto de Ecoeficiència de la Generalitat de Catalunya de 2006 dice que las partes macizas de los diferentes cerramientos verticales exteriores de los edificios, tanto si son sobreexpuestos, expuestos o protegidos, según NRE-AT/87, incluyendo los puentes térmicos integrados en estos cerramientos, como contornos de aberturas, pilares de fachada, cajas de persiana u otros, tendrán unas soluciones constructivas y de aislamiento térmico que aseguren un coeficiente medio de transmitancia térmica  $K_m = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ . [1]

El recientemente publicado Código Técnico de la Edificación subraya en su Artículo 15 “Exigencias básicas de ahorro de energía HE” que el objetivo del requisito básico “Ahorro de energía” consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización en los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento. [1]

Además, el artículo 15.1, que se transcribe a continuación, subraya la importancia de la limitación de la demanda energética en los edificios: [1]

#### **15.1 Exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética**

Los *edificios* dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la *demanda energética* necesaria para alcanzar el *bienestar térmico* en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los *puentes térmicos* para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.

Según esta nueva reglamentación, la demanda térmica en edificios queda limitada según la zona climática, pero lo que no queda especificado es cómo se comprueba que los aislamientos utilizados son los más adecuados. [1]



## 2. Introducción

La elección del proyecto de parte de Carlos A. Ferriz Rodríguez ingeniero de materiales, ingeniero técnico en diseño industrial y técnico especialista en mecánica industrial con especialidad en moldes y matrices, es debido a que se trata de un proyecto en el que el desarrollo constructivo y la solución de problemas de prototipo tiene gran importancia.

Teniendo en cuenta la formación académica recibida, formación profesional en mecánica industrial, estoy más preparado para tomar decisiones constructivas porque soy consciente de la tecnología disponible, y siendo ingeniero técnico en diseño industrial ya he llevado a mi cargo proyectos similares.

### 2.1. Objetivos

Los dos objetivos principales del proyecto vienen definidos por su desarrollo, el primero se debe a la fase de diseño, selección de materiales, fabricación y montaje del dispositivo, y el segundo a la fase de calibración y medidas.

Como objetivos personales se puede señalar la realización de un proyecto de rigor y calidad científica y el aprendizaje de una metodología de trabajo de investigación que me sea de utilidad de cara a mi comienzo profesional en el mundo laboral.

### 2.2. Justificación del proyecto

En este apartado se explica que el presente proyecto está englobado en un proyecto industrial mayor que tiene por objetivo la evaluación del ahorro energético en una vivienda debido al uso de materiales de aislamiento. Se utilizan en una primera etapa herramientas de simulación energética y posteriormente una validación experimental de los resultados.

Las herramientas de simulación se basan en aplicar los cálculos básicos de transferencia de calor introduciendo los coeficientes de conductividad térmica establecidos para los materiales implicados en el estudio.

Se ha visto que en la bibliografía no se encuentran estudios sistemáticos comparativos del comportamiento de aislantes en edificaciones reales. La mayor parte de los estudios se realizan con cálculos teóricos o simulaciones. Además, la mayor parte de las simulaciones son difícilmente verificables, ya que en edificios reales, las ganancias o pérdidas de calor dependen de tantos factores que, discernir qué porcentaje de estos cambios se deben sólo al aislamiento, es casi imposible.

Se ha considerado interesante que, durante la validación experimental de los resultados obtenidos por simulación energética, se pudiera contar con un valor de conductividad térmica del muro de construcción. No hay estudios empíricos considerando el muro en su conjunto. Para ello, se tratará el muro de construcción como un material composite y es, en este punto, dónde se realiza el presente proyecto y se fabrica el dispositivo descrito a continuación para caracterizar el material con diferentes grosores y configuraciones similares a las utilizadas en el muro de construcción.

### 3. Descripción y fabricación del dispositivo

Los métodos existentes en la actualidad para la caracterización de la conductividad térmica en régimen estacionario de una manera fiable, repetible y comparable son “el método de la placa caliente guardada” y “el método del medidor de flujo de calor”, los dos descritos en la norma UNE-EN 12664 adjunta en el anexo A.

El método elegido para su realización es “el método de placa caliente guardada”, ya que con el método del “medidor de flujo de calor” como indica el siguiente párrafo extraído de la Norma EN12667 se obtiene una exactitud de medida menor:[2]

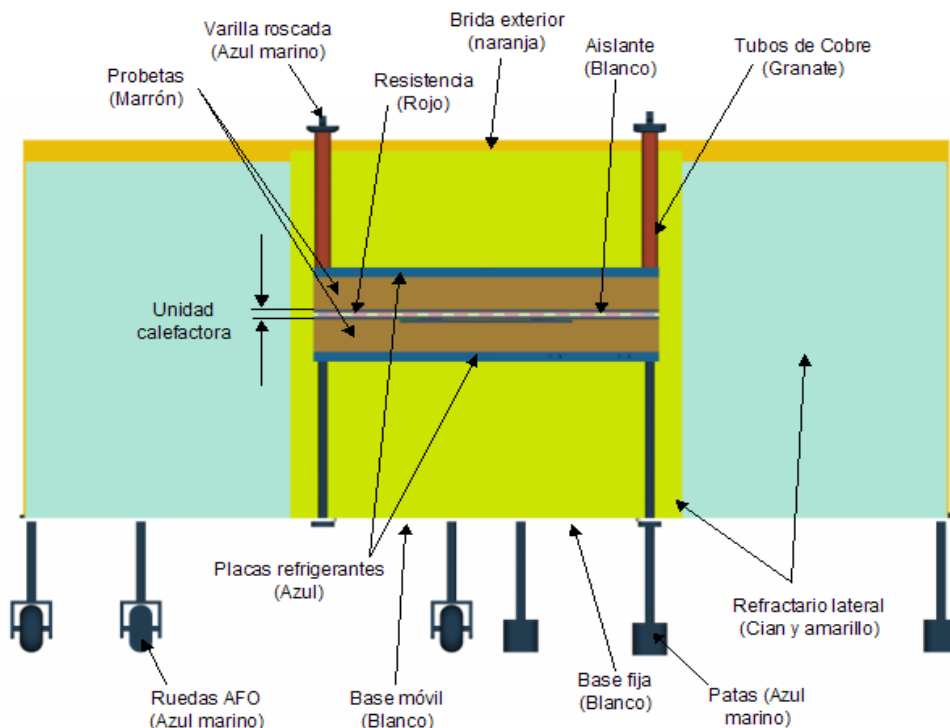
“Si se cumplen con los condicionantes de esta norma y de las normas EN 1946-2:1999 o EN 1946-3:1999, resulta entonces el mayor valor esperado de la desviación de medida de una característica determinada un  $\pm 2$  % para aparatos de placas, y un  $\pm 2$  % más el cuadrado del valor regresivo del material utilizado para la calibración para aparatos de medición del flujo calorífico.”

El dispositivo sirve para la medida y la verificación de materiales secos que deben ser objeto de ensayos precisos, para servir de base técnica de una peritación y para el calibrado de aparatos de control.

El fundamento del método se basa en la aportación de un flujo térmico constante a dos probetas que rodean al foco caliente, para así obtener un gradiente térmico en dichas probetas en función de la potencia eléctrica aportada al foco caliente. El flujo térmico pasa a través de las probetas y se disipa en dos placas frías, situadas en los extremos de las otras caras de las probetas. Se traza la curva de variación del coeficiente de conductividad térmica en función de la temperatura media de las probetas y se determina el coeficiente de conductividad térmica a una temperatura media deseada.

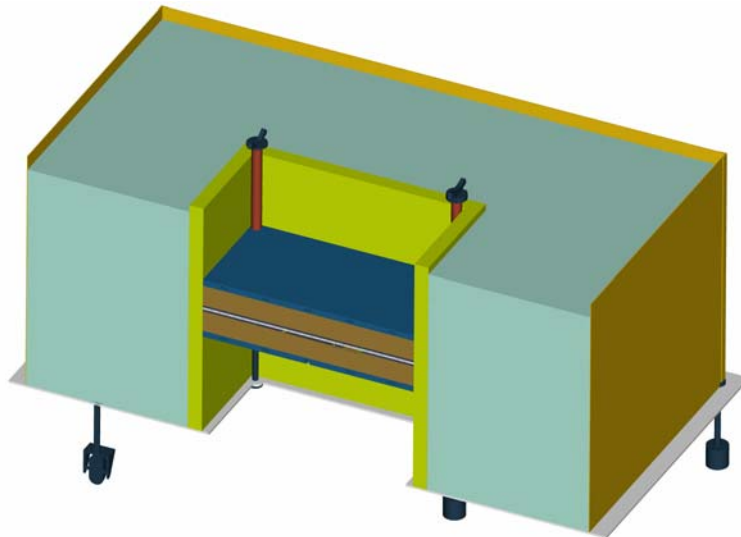
A continuación se describe físicamente el dispositivo que tiene unas medidas máximas exteriores de 850 x 850 mm de superficie por 400 mm de altura, además necesita un lugar habilitado y cercano (un metro mínimo) para la colocación de los sistemas de control y medida; la alimentación de la unidad calefactora es eléctrica con corriente continua, la refrigeración, con agua corriente de la red general y el rango de temperaturas en el cual podemos ensayar muestras entre +15 y +50°C.

Como se puede observar en la figura 1, “el método de placa caliente guardada” está formado por un sistema sándwich, el cual utiliza dos probetas idénticas en cuanto a la homogeneidad de propiedades y características físicas del material (color marrón) una unidad calefactora de material altamente conductor térmico que envuelve una resistencia de hilo metálico (color rojo) situada entre las dos probetas y dos placas refrigerantes del mismo material que la placa calefactora situadas en las caras contrarias de las probetas (color azul). El conjunto va rodeado de material refractario que forma dos mitades de un bloque compacto y sin aire (color cian y amarillo), y todo se apoya en una base móvil y otra fija para favorecer el montaje, cierre y acondicionamiento del dispositivo para el ensayo.



**Figura 1. Partes del dispositivo**

Debido a su geometría y dimensiones el dispositivo esta construido para ensayar dos muestras cuadradas de 300 mm de lado y un espesor máximo de 150 mm. Para espesores superiores (máximo 300 mm) es necesario adaptar el dispositivo a una sola probeta, colocando en el lado opuesto de la placa calefactora, material de aislamiento en lugar de otra probeta. En la figura 2 se observa una simulación 3D del dispositivo con un corte transversal de lado a lado.



**Figura 2. Corte transversal del dispositivo**

Los materiales que podemos ensayar en el dispositivo son los siguientes: [3]

- Materiales homogéneos<sup>1</sup> y mezclas, granulosas compactas, que tengan un tamaño de grano de continuo y que no supere  $\frac{1}{4}$  del espesor de las probetas.
- Materiales fibrosos con entramado uniforme y continuo, sin cámaras de aire superiores a 3 mm.
- Estructuras conteniendo alvéolos o celdillas repartidas de forma uniforme por el volumen de la probeta, y con diámetros inferiores a 3 mm.

Los materiales que no cumplan estas condiciones también podían ensayarse, siempre y cuando no se haga alusión a conductividad térmica en el informe del

ensayo, sino que se refiera a resistencia térmica, haciendo constar la composición y espesor de las probetas.

Por tanto, el dispositivo consta de las siguientes partes que a continuación se describen con más detalles:

Unidad calefactora.

Dos Unidades refrigerantes.

Base y refractario lateral.

La instrumentación de control y medida.

### 3.1. Unidad calefactora

Su funcionamiento se basa en la aplicación de potencia eléctrica a una resistencia dispuesta lo más uniformemente posible a lo largo de una superficie de  $0,09 \text{ m}^2$ , envuelta a cada lado de una placa metálica para uniformizar el calor que produce la resistencia, y un anillo metálico que aleja el gradiente térmico al exterior de la zona de medida.

Consta de una resistencia realizada en hilo de Kanthal<sup>2</sup> de 1 mm de diámetro, Kanthal es un acero ferrítico Hierro-Cromo-Aluminio con pequeños porcentajes de Silicio y Manganeso, se envuelve a cada lado por fibra de vidrio en forma de manta de 1 mm de espesor aproximadamente, aislando eléctricamente la resistencia de las placas de aluminio que le envuelven a cada lado; por condición impuesta por la norma este conjunto no debe exceder de 3 mm. Se colocan a ambos lados del conjunto unas planchas de aluminio de 3 mm de espesor y una superficie de 150 x 150 mm, exteriormente se colocan otras planchas de aluminio en forma de anillo cuadrado que mantiene una ranura de separación con la anterior plancha de 1mm, el anillo tiene unas medidas exteriores 300 x 300 mm y 3 mm de espesor, todo el conjunto forma un núcleo compacto y sin aire de 9 mm de espesor. La distancia entre espiras de la

---

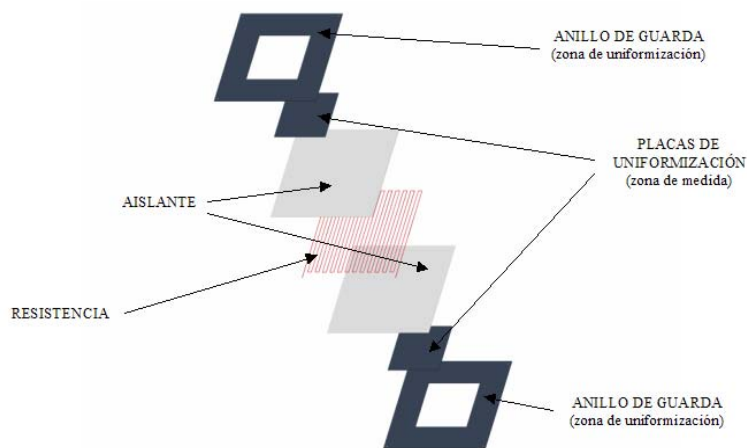
<sup>1</sup> Consideramos un material homogéneo térmicamente cuando el valor de la conductividad térmica no se modifica por una variación de espesor o de área.

<sup>2</sup> Para la selección de los materiales de la unidad calefactora se realizaron prototipos, y se ensayaron aquellos seleccionados como más idóneos, el informe de la experimental se encuentra en el anexo C.

resistencia es de 10 mm aproximadamente. En las esquinas tiene orificios por donde centrar y fijar la unidad al dispositivo, y en un lateral los orificios están abiertos lateralmente para facilitar la apertura del dispositivo.

Las dimensiones totales de la unidad calefactora son: 300 x 300 x 9 mm.

La unidad calefactora como podemos ver en la figura 3 se divide en dos zonas: la zona de medida y la zona de uniformización.



**Figura 3. Partes unidad calefactora**

### 3.1.1. Zona de medida

Esta pieza tiene la función de uniformizar la temperatura que le llega desde la resistencia para que pueda asegurarse que llega a la probeta de manera uniforme.

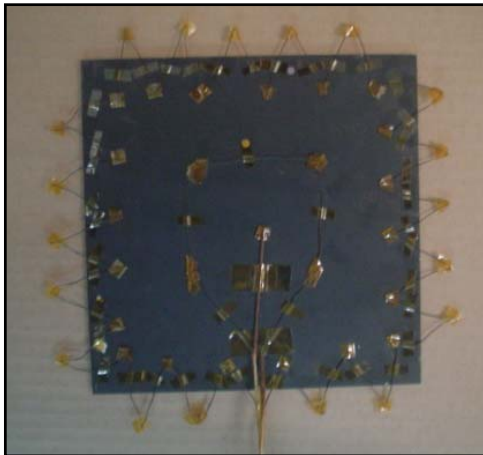
El dispositivo tiene dos zonas de medida, una para cada probeta, realizadas con una plancha de aluminio de espesor de 3 mm y superficie de 150 x 150 mm, son totalmente planas y están pintadas de negro mate para obtener una emitancia máxima<sup>3</sup> total alrededor de 0,8, también llevan adheridos a su

<sup>3</sup> Emitancia[6]: Propiedad de los materiales para emitir energía radiante. Se mide en una escala del 0 al 1.

superficie los termopares de control, tal y como aparece en la figura 4. Para mayor información constructiva se puede mirar el plano 13.

Entre la parte central y la placa de uniformización hay una ranura de espesor 1 mm, para que la temperatura en la placa central o de medida sea lo más uniforme posible.

Las dimensiones totales de la zona central son: 150 x 150 x 3 mm.



**Figura 4. Placa de medida**



**Figura 5. Anillo de Guarda**

### 3.1.2. Zona de uniformización

Su finalidad es garantizar la uniformización de temperatura en la zona de medida, esto se comprueba con la colocación de un termopar en la mitad de uno de sus lados. Podemos observar las placas en la figura 5.

En el dispositivo al igual que las zonas de medición se encuentran dos zonas de uniformización o anillos de guarda, una para cada cara caliente de cada probeta. Realizada con planchas de aluminio de 300 x 300 x 3 mm están formadas con la misma resistencia que la parte central, no están pulidas, son totalmente planas y están pintadas de negro mate para obtener una emitancia máxima total alrededor de 0,8 [2]. Para mayor información constructiva se puede mirar el plano 8.



### 3.1.3. Alimentación eléctrica

Tanto la zona de medida como la zona de uniformización se alimentan de la misma manera con corriente continua y de una forma constante, la alimentación de la potencia eléctrica debe ser graduable desde 0 a 60 watos, en concreto la fuente de alimentación eléctrica escogida es de la marca Promax, modelo FAC-363B que va enchufada a la red eléctrica general, véase figura 6, sus especificaciones técnicas son las siguientes:



**Figura 6. Fuente de Alimentación**

Características de salida:

Tensión máxima de salida	30 V
Intensidad máxima de salida	2 A
Resistencia interna	6 mΩ a 1 KHz 10 mΩ a 10 KHz
Regulación de carga(0 a 100 %)	0,05 % + 2 mV
Regulación de red ( $\pm 10$ %)	0,05 % + 2 mV
Tiempo de recuperación (I de 10 a 100 %)	< 50 $\mu$ s
Ruido y zumbido	500 $\mu$ s rms

Alimentación:

Tensión de red	AC: 110, 125, 220, 230, 240 V
$\pm 10$ % / 50 – 60 Hz	

Consumo 120 W

Temperatura ambiente máx. 40 °C

Características mecánicas:

Dimensiones A.230x Al.145x Pr.290mm

Peso 6 Kg.

#### 3.1.4. Fabricación de la unidad calefactora

1) El primer paso es construir un molde con el cual poder construir y reproducir la resistencia cada vez que esta sufra algún daño.

2) Se dibuja en la madera el espacio que formará nuestra resistencia (300 x 300 mm) y la espiral que describirá el hilo de Kanthal, con separación de 10 mm entre espira y un margen lateral de 5 mm.

3) Se le corta a los clavos y los remaches la punta a fin de que una vez clavados en la madera no sobresalgan de esta más de tres milímetros.

4) Se clava en cada esquina de la espiral un clavo, y en el inicio y final del recorrido los dos remaches como podemos ver en la figura 7.



**Figura 7. Molde para la resistencia**

5) Se enrolla un poco el Kanthal en el remache del inicio de la espiral y lo llevamos hasta el primer clavo, acogiéndolo con la cabeza del mismo. De este pasamos al siguiente, luego el siguiente y así hasta acabar con toda la espiral. Es importante estirar bien el Kanthal entre clavo y clavo y dejar al principio y final del recorrido suficiente hilo para realizar las conexiones.

En la figura 8 se puede ver la espiral acabada con el aislante (fibra de vidrio), en un principio se utilizó aislante papel Superwool, pero se ha desestimado como material por su rápida degradación ante la temperatura (véase figura 9).



**Figura 8. Resistencia**



**Figura 9. Degradación del Superwool**

6) El hilo de Kanthal sobrante al inicio y final de la resistencia, se trenza con la ayuda de un taladro tal y como se observa en la figura 10; trenzando el hilo se aumenta la sección de la resistencia en las partes o zonas que queden en el exterior del dispositivo, reduciendo la temperatura en zonas exteriores y los accidentes por quemadura; además deben colocarse terminales de presión para mejorar el contacto eléctrico con la fuente de alimentación.

También se colocan para cada extremo trenzado cinco cilindros de diámetro 6 mm y longitud de 6 mm de alúmina (óxido de aluminio) para la curva, y un tubo también de alúmina del mismo diámetro y longitud de 60 mm para evitar el contacto eléctrico con las placas metálicas. Véase figura 11.

**Figura 10. Trenzado de la resistencia****Figura 11. Abalorios de Alúmina**

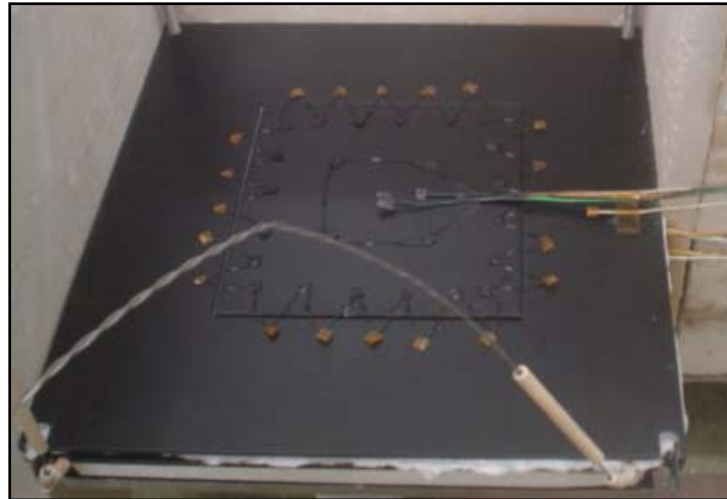
7) Una vez cortadas y mecanizadas las placas según planos adjuntos, el anillo de guarda plano 8 y la zona de medición plano 13, se pintan las superficies en contacto con las probetas de color negro mate para conseguir una emisividad máxima.

8) Se corta la fibra de vidrio con unas tijeras a una superficie de medidas 300 x 600 mm, se dobla a 300 mm por la mitad para acoger así la resistencia entre las capas, con un espesor de 1 a 2 mm aproximadamente, ya que, la fibra de vidrio se puede manipular con mucha facilidad. Véase figura 12.

**Figura 12. Aislante de Fibra de vidrio para la resistencia.**

9) Se coloca la resistencia con el aislante dentro de las placas de aluminio y se pasan las varillas roscadas por los orificios en los anillos de guarda, quedando así un paquete compacto.

10) En las caras en contacto con las muestras de ensayo, se colocan los termopares mediante cinta adhesiva polimérica Kapton, capaz de aguantar hasta 300°C y suministrada por Kosmon S.A<sup>4</sup>, siguiendo la configuración de la figura 13.



**Figura 13. Posición de los termopares en la unidad calefactora.**

11) Para la conexión de la unidad a la fuente de alimentación se monta un cable monofásico con tres hilos (positivo, negativo y neutro) con recubrimiento polimérico de 2 m de longitud y hilos de 1 mm de diámetro, con terminales de presión a un lado y conexiones banana en el otro, véase figura 14.



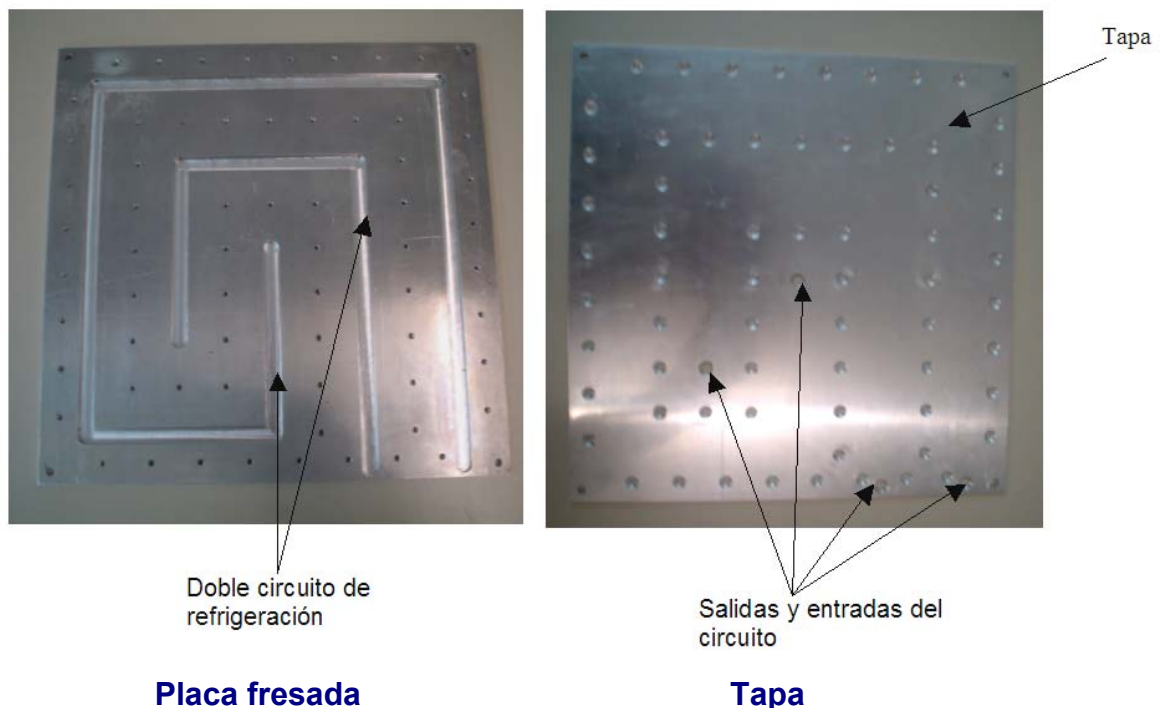
**Figura 14. Cable de conexión.**

<sup>4</sup> Empresa detallada en el punto 15, agradecimientos.

### 3.2. Unidad refrigerante

La finalidad de estas piezas es la de disipar el flujo térmico aplicado por la resistencia que pasa a través de las probetas de ensayo de la forma más rápida y uniforme en toda la extensión de la superficie de la probeta, por tanto están fabricadas con material altamente conductor y tienen un canal de refrigeración dispuesto homogéneamente en la superficie.

El dispositivo dispone de dos unidades refrigerantes, una para cada cara fría de cada probeta. Realizadas con dos planchas de aluminio, una tiene un circuito mecanizado en doble espiral cuadrada con corrientes contrarias, con unas medidas de 300 x 300 x 6 mm y la otra hace la función de tapa unida con tornillos a la placa con el circuito fresado, con unas medidas de 300 x 300 x 3 mm; la tapa tiene orificios en los que conectar racores y mangueras de Poliamida (PA) para la alimentación del refrigerante (agua), se observa en la figura 15. Las caras en contacto con las probetas deben estar pintadas de negro mate para obtener una emitancia máxima.



**Figura 15. Placas de la unidad refrigerante**

Para saber más detalles físicos de estas piezas pueden consultarse los planos constructivos 12 y 13 recogidos en el anexo F.

La refrigeración se hace mediante agua a temperatura ambiente del laboratorio proveniente de la red general. Las temperaturas de la placa refrigerante superior e inferior deben ser idénticas y las dimensiones totales de la unidad refrigerante son: 300 x 300 x 9 mm.

Cálculos 1:

En el siguiente cálculo se realiza una aproximación a la respuesta térmica de la unidad refrigerante realizando los cálculos sobre una hipotética unidad refrigerante con un solo canal de refrigeración, véase figura 16, donde la distancia entre el foco frío y caliente se varia para determinar la distancia entre espira. Esta aproximación se efectúa para evitar deformaciones en la plancha de aluminio causadas por la mecanización, al extraer demasiado material de la mitad superior de la plancha, como ocurre en el fresado de canales sobre láminas finas; se observa un ejemplo de fresa y el mecanizado en la figura 16.[4,5]

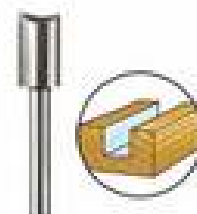


Figura 16

En la aproximación se escogen tres distancias entre foco de calor y la pared del canal, y se calculan las transferencias de calor necesarias para variar 20 K con cada distancia, el flujo de calor que pasa por la placa en una hora, y con el calor específico de agua, se calcula el calor liberado al agua con cada distancia y en una hora. Se comparan en una tabla y se elige la que tenga la distancia máxima manteniendo una refrigeración aceptable. Finalmente se escoge una distancia de 50 mm entre espira ya que se asegura que habrá el material suficiente entre espira para evitar las deformaciones.

Teniendo en cuenta que la placa refrigerante es cuadrada, de lado 0,3 m, se calcula la superficie de contacto con la probeta, por la cual atravesará el flujo de calor:

$$\begin{aligned}
 S &= l^2 & (\text{Ec.1}) \\
 S &= (0,3 \text{ m})^2 \\
 S &= 0,09 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Fijando las tres distancias entre el foco caliente y la pared del canal en  $l_1 = 20$  mm,  $l_2 = 30$  mm y  $l_3 = 50$  mm conociendo la superficie de contacto calculada en la ecuación 1, y la conductividad del aluminio que es de  $k_1 = 244$  W/mK, se plantea una hipótesis en la que el gradiente de temperatura deseado es de 20 K, entonces se calcula la flujo de calor según la ecuación de Fourier, necesaria para variar estos 20 K.

$$q = S \cdot k \frac{\Delta T}{x} \quad (\text{Ec.2})$$

donde  $x$  es la distancia entre espira en metros. Se realiza el cálculo para  $x = l_1 = 20$  mm:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= 0,09 \text{ m}^2 \cdot 244 \text{ W/mK} \frac{20 \text{ K}}{0,02 \text{ m}} \\
 q_1 &= 21.960 \text{ W} = 21,96 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

para  $l_2 = 30$  mm, se calcula una transferencia de calor de:

$$\begin{aligned}
 q_2 &= 0,09 \text{ m}^2 \cdot 244 \text{ W/mK} \frac{20 \text{ K}}{0,03 \text{ m}} \\
 q_2 &= 14.640 \text{ W} = 14,64 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

y para  $l_3 = 50$  mm:

$$\begin{aligned}
 q_3 &= 0,09 \text{ m}^2 \cdot 244 \text{ W/mK} \frac{20 \text{ K}}{0,05 \text{ m}} \\
 q_3 &= 8.784 \text{ W} = 8,78 \text{ kW}
 \end{aligned}$$



Mediante la ecuación 3 del flujo de calor, se calculan las transferencias de calor referentes a las tres distancias entre espiras fijadas ( $l_1$ ,  $l_2$  y  $l_3$ ) para un tiempo de una hora:

$$Q = q \cdot t \quad (\text{Ec.3})$$

se hallan las transferencias de calor  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ :

$$Q_1 = 21,96 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$Q_1 = 79.056 \text{ kJ}$$

$$Q_2 = 14,64 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$Q_2 = 52.704 \text{ kJ}$$

$$Q_3 = 8,78 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s}$$

$$Q_3 = 31.608 \text{ kJ}$$

El caudal de agua del que se dispone es de 0,25 kg/s, sabiendo esto, se plantea como hipótesis un tiempo de una hora para poder comparar los cálculos para las diferentes  $l_x$ , se halla la masa de agua que pasa por nuestra placa en una hora.

$$M = 0,25 \text{ kg/s} \cdot 3.600 \text{ s} = 900 \text{ kg de H}_2\text{O/h}$$

Conociendo el calor específico del agua  $c = 4,166 \text{ KJ/kgK}$ , el flujo de calor que pasa a la placa en cada caso de  $l_x$ , y la cantidad en kilos de agua en una hora, se calcula la variación de temperatura que sufrirá el agua en los tres casos mediante la ecuación 4:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{Ec.4})$$

por lo que la diferencia de temperatura,  $\Delta T$ :

$$\Delta T = \frac{Q_x}{m \cdot c}$$

se aplican los datos a la ecuación y se hallan las pérdidas de temperatura de la placa para cada una de las distancias es:

$$\Delta T_1 = \frac{79.056 \text{ KJ}}{900 \text{ kg/h} \cdot 4,166 \text{ KJ/kgK}}$$

$$\Delta T_1 = 21,081 \text{ K/h}$$

$$\Delta T_2 = \frac{52.704 \text{ KJ}}{900 \text{ kg/h} \cdot 4,166 \text{ KJ/kgK}}$$

$$\Delta T_2 = 14,054 \text{ K/h}$$

$$\Delta T_3 = \frac{31.608 \text{ KJ}}{900 \text{ kg/h} \cdot 4,166 \text{ KJ/kgK}}$$

$$\Delta T_3 = 8,428 \text{ K/h}$$

**Tabla 1. Resultados de la aproximación al cálculo de la distancia entre espira:**

Distancia entre espira $l_x$ (m)	Flujo térmico $q_x$ (kW)	Transferencia de calor $Q_x$ (MJ)	Temperatura disipada (K/h)
0,02	21,96	79,056	21,081
0,03	14,64	52,704	14,054
0,05	8,78	31,608	8,428

Por lo tanto se elige la distancia de 50 mm entre espira porque es la de mayor espaciado, y mantiene una disminución de la temperatura de la placa de 8,4 K/h algo más que aceptable.

### 3.2.1. Montaje de la unidad refrigerante

1) Se mecaniza con la fresadora el canal en la placa inferior, se taladran y roscan los orificios pertinentes tanto en la placa inferior como en la superior, véanse planos 7 y 9.



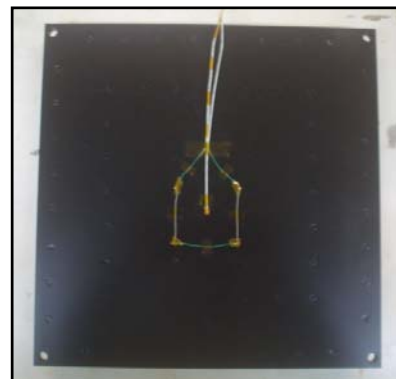
**Figura 17. Disposición del cordón de silicona para evitar pérdidas**

2) Se coloca silicona para que haga la acción de junta de estanqueidad sobre las placas como se observa en la figura 17.

3) Se juntan la placa que hace de tapa con la placa del circuito mecanizado y se roscan los tornillos de unión como muestra la figura 18.



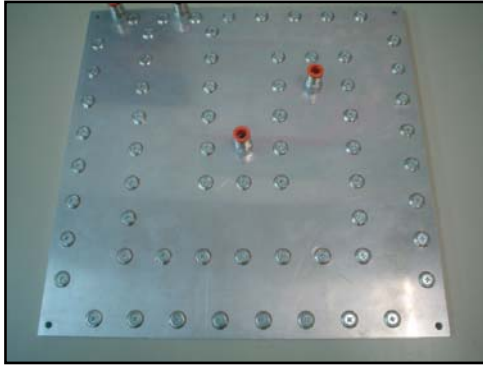
**Figura 18. Unión de las placas**



**Figura 19. Posición termopares**

4) Es necesario pintar de negro mate las superficies en contacto con la muestra de ensayo, para aumentar la emisividad al máximo. También se colocan con unos trozos de cinta Kapton los termopares en su posición. Véase figura 19.

5) Se roscan los rácores a las salidas y entradas del circuito y ya está la unidad montada, véase figura 20.



**Figura 20. Unidad refrigerante**



**Figura 21. Distribuidores del circuito**

6) Se cortan los tubos y se conectan con las T al grifo y a la placa.

7) Se remachan unas agarraderas a la brida exterior de aluminio para sostener las T de distribución, evitando que cuelguen de una manera que los tubos puedan engancharse al pasar cerca del dispositivo. Véase figura 21.

8) Se pasan las varillas roscadas por los orificios para unir las unidades refrigerantes al conjunto.

### 3.3. Base y refractario

La base es una pieza que tiene la función de soportar todo el sistema encima de su superficie, así como para poder colocar todo el material refractario alrededor del mismo para aislar térmicamente el dispositivo y conseguir un gradiente térmico únicamente en el eje x. Esta realizada en Aluminio y sus medidas son 825 x 825 x 3 mm. Esta dividida por la mitad según planos 10 y 11 para facilitar el montaje y desmontaje del dispositivo. Ha sido mecanizada y taladrada en el taller mecánico mediante maquinas-herramienta.

El refractario esta construido con ladrillos refractarios y cemento Pórtland, hay seis pisos de ladrillos y las medidas máximas del volumen de cada mitad de la base son 400 x 800 x 420 mm. El ancho desde el sistema al exterior es de 0,25 m, esta formado de un material fibroso con fibras de óxido de Silicio y de Aluminio, con una conductividad de 0,11 W/mK llamado Kaowool y un espesor de 2 cm, con lo que el ancho de los ladrillos es de 23 cm como se observa en la figura 22.



**Figura 22. Base y refractario**

El sistema de gran precisión no debe tener gradiente de temperaturas más que en el eje z para validar el ensayo; con lo que debe ser un núcleo compacto y sin aire ni orificios que puedan hacer de chimeneas del calor, para controlar esto, se utilizan termopares colocados estratégicamente.

Las placas base tienen unos orificios en los que colocar varillas roscadas M8 en las que mediante unas tuercas levantan, unen y centran en el refractario todo el sistema, consiguiendo que las condiciones del ensayo sean lo más parecidas tanto en la probeta inferior como en la superior, véase figura 23.



**Figura 23. Topes para regular la altura**

#### 3.3.1. Montaje de la placa base y el aislante lateral

- 1) Se cortan a medida, se mecaniza el orificio interior y se roscan los taladros tanto de la parte fija como la parte móvil según planos adjuntos de las planchas de aluminio 10 y 11.
- 2) Para la parte fija, se cortan 4 trozos de varilla roscada M8 de 15 cm aproximadamente para las patas exteriores (figura 24) y 2 trozos de 34 cm para la unión del conjunto donde se roscan patas añadiendo dos puntos más de apoyo (figura 25).



**Figura 24. Patas de goma**



**Figura 25. Patas interiores con varilla centradora**

3) Para la parte móvil, se cortan 5 trozos de varilla roscada M6 de 12 cm aproximadamente para las ruedas y 2 trozos de 34 cm para la unión del conjunto.

4) Se cortan a medida según plano 17 cuatro trozos de Kaowool de espesor 2 cm (figura 26) que harán de tapaderas laterales del calor.<sup>5</sup>



**Figura 26. Pieza refractaria de Kaowool.**

5) Se mezcla el mortero con agua a una proporción adecuada y se construyen las paredes de ladrillo refractario para cada una de las mitades que forman la

---

<sup>5</sup> Para la manipulación de este material, dado que se pueden desprender partículas pequeñas respirables, hay que utilizar mascarilla auto filtrante según Norma europea EN149:2001

base hasta alcanzar el espesor indicado en la norma (25 cm.), Véase figura 27.

Se mecanizan en los ladrillos que van situados en la primera altura huecos o muescas para acoger las tuercas de las patas y ruedas (figura 28).



**Figura 27. Construcción del refractario**



**Figura 28. Detalle muesca**

6) Se cortan con la cizalla las planchas de aluminio de 1 mm de espesor a 800 x 420 mm que harán de brida exterior del bloque refractario, véase figura 29. Se Cortan también los perfiles L (figura 30) para unirlos, y además se cortan dos de las planchas antes cortadas, por la mitad de 800 mm para poder abrir las dos mitades refractarias.



**Figura 29. Brida exterior**



**Figura 30. Perfiles de Aluminio.**



7) Se hacen los agujeros y se remachan tres cierres a cada lado de las bridas exteriores para que ejerzan un poco de presión y aseguren el máximo contacto en la unión de los dos bloques refractarios. Véase figura 31.



**Figura 31. Cierres brida exterior**



**Figura 32. Toma de tierra**

8) Se realiza un taladro en la brida exterior de la base móvil de diámetro 8 mm y se coloca un tornillo, para conectar la toma de tierra de la fuente de alimentación. Véase figura 32.

9) Finalmente se cortan dos trozos de papel Superwool con una superficie de 420 x 250 mm para colocar en la unión de las bases refractarias, e impedir que se rompa el recubrimiento de los termopares por la fricción con los ladrillos al montar y desmontar. También se reducen las pérdidas de calor por estas juntas. Véase figura 33.



**Figura 33. Junta de papel Superwool**

### 3.4. Sistema de control de temperatura

Para el control de la temperatura se ha escogido termopares tipo K, elaborados con Alumel(95% de Ni y mezcla equilibrada de Al, Si y Mn)-Cromel(90% de Ni, 10% de Cr)[17]. Los ensayos son de baja temperatura y el funcionamiento de los termopares se basa en la diferencia de potencial eléctrico entre la unión fría y caliente de los hilos Cromel-Alumel; este potencial mantiene una relación prácticamente lineal con la temperatura a la que está la unión caliente, y su rango de “linealidad” abarca desde  $-200^{\circ}\text{C}$  hasta  $1200^{\circ}\text{C}$ .

Tienen una sensibilidad promedio de  $41\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente, y el diámetro total de los hilos más el recubrimiento es de 1mm; están aislados eléctricamente de la superficie de medición o contacto por un envoltorio en forma de tejido de fibras cerámicas y de las soldaduras mediante Kapton como se observa en la figura 34.



**Figura 34. Aislamiento de las soldaduras con Kapton**

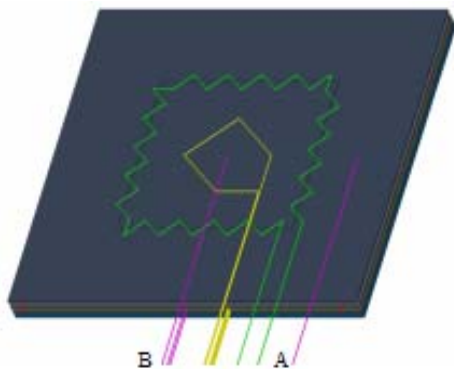
Tanto la posición como el número de termopares viene determinado por la Norma UNE 92-201-89 adjunta en el anexo A. La distribución es la siguiente:

- **5 termopares** (Color fucsia en la figura 35): uno colocado a la mitad de un lado del anillo de guarda para verificar que no existe un gradiente de temperaturas lateral (designado A en la figura 35), y 4 termopares situados en el centro de las caras de las probetas (designado B en la figura 35) que serán con los que se controla el ensayo y se realizan las gráficas.

- **4 termopares** diferenciales de distribución de temperaturas de las probetas (Color amarillo en la figura 35): Cada uno tiene cuatro puntos de control colocados en los cuatro puntos cardinales que aseguran la uniformidad de temperaturas en la zona de medición.

**2 termopares** diferenciales de distribución perimetral de temperatura (Color verde en la figura 35): situados entre la placa central y el anillo de guarda y extremadamente sensibles, cada uno tiene 20 puntos de control con una longitud entre puntos de 30 mm. Su finalidad es controlar que todo el perímetro de la zona de medición está a la misma temperatura que el anillo de guarda.

Debido a la calibración del sistema de adquisición de datos, en la lectura visualizada en el display digital (figura 37) cuando los termopares diferenciales tienen a la misma temperatura en sus soldaduras frías y calientes, es decir, no registran diferencia de temperatura entre sus soldaduras, se observa la temperatura ambiente en lugar de 0 K.



**Figura 35. Distribución de los termopares**      **Figura 36. Detalle colocación**

La distribución que se observa en la figura 35 es para la cara caliente de la probeta superior, en la cara caliente de la probeta inferior, se mantienen todos los termopares menos el situado en el anillo de guarda (A). Para las caras frías de las probetas únicamente conservamos el termopar central para hacer el ensayo (designado B en la figura 35), y el diferencial de cuatro puntas (amarillo en la figura 35) para asegurar la homogeneidad de temperaturas.

Para mayor comodidad en la manipulación, montaje y desmontaje del sistema, los termopares de las caras calientes van pegados con cinta Kapton a la placa de medición tal como se observa en la figura 36; así mismo en el anillo de guarda y en las placas refrigerantes también se colocarán los termopares necesarios para el control del ensayo.

El sistema de adquisición de datos elegido es el termómetro data logger Hibok-18C suministrado por Kosmon S.A., el dispositivo necesita 3 termómetros data logger, ya que hay 12 lecturas (4 puntos de control ensayo, 4 termopares de 4 puntas, 2 termopares de 20 puntas, un punto de control del anillo de guarda y una medición de la temperatura ambiente durante el ensayo) y cada termómetro tiene 4 entradas. Véase figura 37. Para mayor comodidad los tres termómetros están montados sobre una plancha de aluminio sobrante mediante unas bridas, y así poder transportarlos juntos.



**Figura 37. Sistema de adquisición de datos.**

## 4. Preparación de las muestras

### 4.1. Generalidades

El dispositivo fabricado está preparado para acoger muestras de un espesor de 10 mm como mínimo según aconseja la presente norma, hasta un espesor máximo de 150 mm.

Las probetas deben ser cuadradas, planas, paralelas al área total de la superficie y homogéneas en cuanto sus propiedades físicas (densidad, peso, etc). Deben tener una superficie de 300 x 300 mm como máximo, igual que las unidades calefactora y refrigerante, y un mínimo de 200 x 200 mm para cubrir la zona de medición de 150 x 150 mm.

Las superficies de ensayo de las muestras deben ser aplanadas mediante métodos apropiados (siendo frecuente el lijado, cortado en un plano y el uso de maquinaria adecuada) de tal manera que el contacto entre las muestras y el equipo sea máximo.

Según la Norma UNE 92-201-89 para dar como válido el ensayo, las probetas deben cumplir que la diferencia de densidad entre las probetas en todos los casos sea lo más similar posible, no pudiendo superar su desviación el 5% del valor medio. Además la diferencia entre el espesor de cada una de ellas y el espesor medio debe ser menor del 1% del espesor medio.[3]

### 4.2. Preparación de muestras

Todas las muestras deben ser medidas, pesadas y comparadas con el fin de conseguir la mayor similitud entre muestras del mismo material. Deben tener la mayor ausencia de humedad con una variación máxima del 0,5% de su peso medio en 24 h por lo que estarán 24 h en el secador entre 100° y 110° C.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> En general, se considera como estado seco el de equilibrio de los materiales a 343 K (70 °C), ventilados con aire procedente de un ambiente de 293 K (20 °C), y con una humedad relativa de hasta el 65%

Las probetas deben tener orificios o chaflanes en las esquinas, según se observa en el plano n.º 14, para la unión del sistema.

#### 4.3. Muestras de ensayo

Las muestras o probetas para las que principalmente se construye el ensayo deben estar fabricadas a escala del muro de construcción, con lo cual estarán formadas por distintos materiales como son: ladrillo, hormigón y yeso. Su espesor no excederá de 15 cm para dos probetas, y de 30cm para una sola probeta.

La superficie mínima de ensayo viene determinada por el espesor de probeta, es necesario un volumen mínimo de material que salga perimetralmente por fuera de la superficie de medida (150 x 150 mm), para uniformizar la temperatura en la zona central. Para la certificación de resultados es conveniente que el ensayo se realice con una superficie de probeta igual a la superficie del sistema (300 x 300 mm), pero si esto no fuera posible, la superficie mínima de probeta, para garantizar que hay el suficiente volumen de material bordeando la zona de medida, para homogeneizar la temperatura en la parte central, debe cumplir la ecuación 5.

$$S_{\min} \geq (150 + 2e) \text{ mm} \times (150 + 2e) \text{ mm} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde e es el espesor en milímetros.

## 5. Procedimiento operatorio

Se seca la muestra para mantener una masa constante, en una estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  hasta  $110^{\circ}\text{C}$  que toma el aire desde un ambiente a  $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$  y  $(50 \pm 5)\%$  de humedad relativa.

Se considera establecida la masa, cuando el cambio de la misma en la muestra del ensayo, y después de un periodo de 24 h es aleatoria y menor que el equivalente de  $0,1\text{ kg/m}^3$  (o  $0,01\%$  por volumen).

Se miden, pesan y se comprueba si las probetas son aptas para el ensayo, (Cálculos 2, página 39-40).

Se colocan las probetas en el interior del dispositivo de ensayo centrándolas al máximo en la zona de medición.

Después de comprobado el aislamiento eléctrico de los diversos circuitos calefactores y de los termopares con la ayuda de un tester, se alimenta la placa caliente para obtener el gradiente de temperatura deseado, en función del valor esperado del coeficiente de conductividad térmica.

Se hace circular el refrigerante a fin de obtener la temperatura deseada.

Las primeras medidas podrán realizarse después de 12 a 24 h del comienzo del ensayo; las complementarias se pueden tomar a intervalos de 2 a 4 h dependiendo del espesor de las muestras y del tipo de material ensayado.

En la Figura 38 se puede ver un ejemplo de la hoja de resultados, también adjunta en el anexo E.





Se anota en la columna 14, ( $\epsilon T$ ) el valor del incremento de temperatura de los termopares diferenciales dispuestos entre el cuadro central y la zona de guarda.

El régimen estacionario se considera alcanzado cuando se cumplen las siguientes condiciones:[3]

La diferencia de temperatura media,  $\epsilon T$ , ente la zona central y la zona de guarda (termopar 20 puntos) no sobrepase el siguiente valor:

$$\epsilon T = \frac{2 \times 10^{-4} \times \Delta T_m}{e} \quad (\text{Ec. 5})$$

donde,

$\Delta T_m$  es el incremento medio de la temperatura de ensayo, que es igual a la media de los incrementos de temperatura entre las caras de cada probeta.

$e$  es el espesor medio, en metros, de las dos probetas.

La diferencia de temperatura entre las caras calientes de las probetas no sea superior al 1 % del incremento medio de la temperatura de ensayo:

$$\theta_{mc1} - \theta_{mc2} \leq \frac{\Delta T_m}{100} \quad (\text{Ec.6})$$

donde,

$\theta_{mc1}$ ,  $\theta_{mc2}$  son las temperaturas medias de la cara caliente de las dos probetas.

La diferencia de los incrementos de temperatura entre las caras de cada probeta no sobrepasa el 2 % del incremento medio de temperaturas de ensayo:

$$\Delta T_1 - \Delta T_2 \leq \frac{2 \cdot \Delta T_m}{100} \quad (\text{Ec.7})$$

donde,

$\Delta T_1$ ,  $\Delta T_2$  son los incrementos de la temperatura entre las caras de cada probeta.

Un mínimo de tres medidas espaciadas al menos 2 h no deben dar:

Una variación del valor medio de la potencia superior a 1 %.

Una variación, para el incremento medio  $\Delta T_m$ , entre caras de las probetas superior al 1 % del valor medio.

Una variación de la temperatura impuesta sobre las placas frías en más de 0,1 K.

## 6. Calibración

La calibración del sistema de adquisición de datos a una lectura de 0  $\mu\text{V}$  entre las soldaduras del termopar, corresponde a la temperatura ambiente; por tanto es necesario un termopar que registre la temperatura ambiente del ensayo, para comparar y saber cuando están a la misma temperatura las soldaduras frías y calientes de los termopares de control.

Debido a la extrema sensibilidad del termopar diferencial de 20 puntos de control y a la calibración del sistema de adquisición de datos, se adjunta en el anexo D una hoja de calibración del termopar.

Se obtiene mayor exactitud de medida cuanto más parecidas son las muestras utilizadas para el calibrado y las muestras a medir en cuanto a conductividad térmica y espesor se refiere. O dicho de otra manera, la desviación en la medida será mayor cuanto más diferentes sean la muestra de calibración de la muestra a medir.

La muestra que empleamos para la calibración es espuma de Poliuretano rígida, suministrada por Synthesia S.A. empresa dedicada al desarrollo de espumas de poliuretano; la muestra tiene un espesor de 30 mm. Véase figura 39.



**Figura 39. Probetas de espuma de Poliuretano**

Debido al tratamiento térmico mencionado en el apartado 3.2 que debe efectuarse en todas las probetas de ensayo para eliminar la humedad, las probetas de espuma de Poliuretano han aumentado su volumen y disminuido su peso por efecto de la reacción del agente espumante al aumentar la temperatura.

**Tabla 2. Cálculo de las probetas:**

	Muestra 1	Muestra 2
Peso deshumificada	0,076300 kg	0,082100 kg
Error = $1 \cdot 10^{-6}$ kg		
Dimensiones	0,29 x 0,294 x 0,031 m	0,29 x 0,294 x 0,034 m
Error = $1 \cdot 10^{-3}$ m		
Volumen	$2,643000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$	$2,898000 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$
Error = $1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$		
Densidad	28,868 kg/m <sup>3</sup>	28,329 kg/m <sup>3</sup>
Error = $1 \cdot 10^{-6} \text{ kg} / 1 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3$		

## Cálculos 2: Comparación y verificación de probetas:

En el siguiente calculo se determina si la diferencia entre las densidades de las probetas está por debajo del 5%, ya que es un requisito impuesto por la norma UNE 92-201-89, adjunta en al anexo A, esencial para que el ensayo sea certificable.

Verificación de la superficie mínima:

$$S_{\min} \geq (150 + 2e) \text{ mm} \times (150 + 2e) \text{ mm} \quad (\text{Ec. 8})$$

-Probeta 1:  $S_{\min} = (150 + 2 \times 31) \times (150 + 2 \times 31) = 212 \times 212 \text{ mm}$   
 Superficie probeta =  $290 \times 294 \text{ mm} > S_{\min}$

-Probeta 2:  $S_{\min} = (150 + 2 \times 34) \times (150 + 2 \times 34) = 218 \times 218 \text{ mm}$   
 Superficie probeta =  $290 \times 294 \text{ mm} > S_{\min}$

Volumen y densidad probeta 1:

$$0,29 \times 0,294 \times 0,031 \text{ m} = 2,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\text{Densidad} = \rho = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$\rho_1 = \frac{0,0763 \text{ kg}}{2,643 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 28,869 \text{ kg/m}^3$$

Volumen y densidad probeta 2:

$$0,29 \times 0,294 \times 0,034 \text{ m} = 2,899 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$\rho_2 = \frac{0,0821 \text{ Kg}}{2,899 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 28,330 \text{ Kg/m}^3$$

Verificación de las probetas:

Densidad media =  $\rho_m = 28,869 + 28,330 / 2 = 28,600 \text{ kg/ m}^3$

5%  $\rho_m = 1,430 \text{ kg/ m}^3$

Condición :

Densidad probeta - Densidad media probetas < 5% Densidad media probetas

-Probeta 1:  $28,867 - 28,600 = 0,267 < 5\% \rho_m$

-Probeta 2:  $28,330 - 28,600 = 0,270 < 5\% \rho_m$

**Tabla 3. Valores tabulados:<sup>7</sup>**

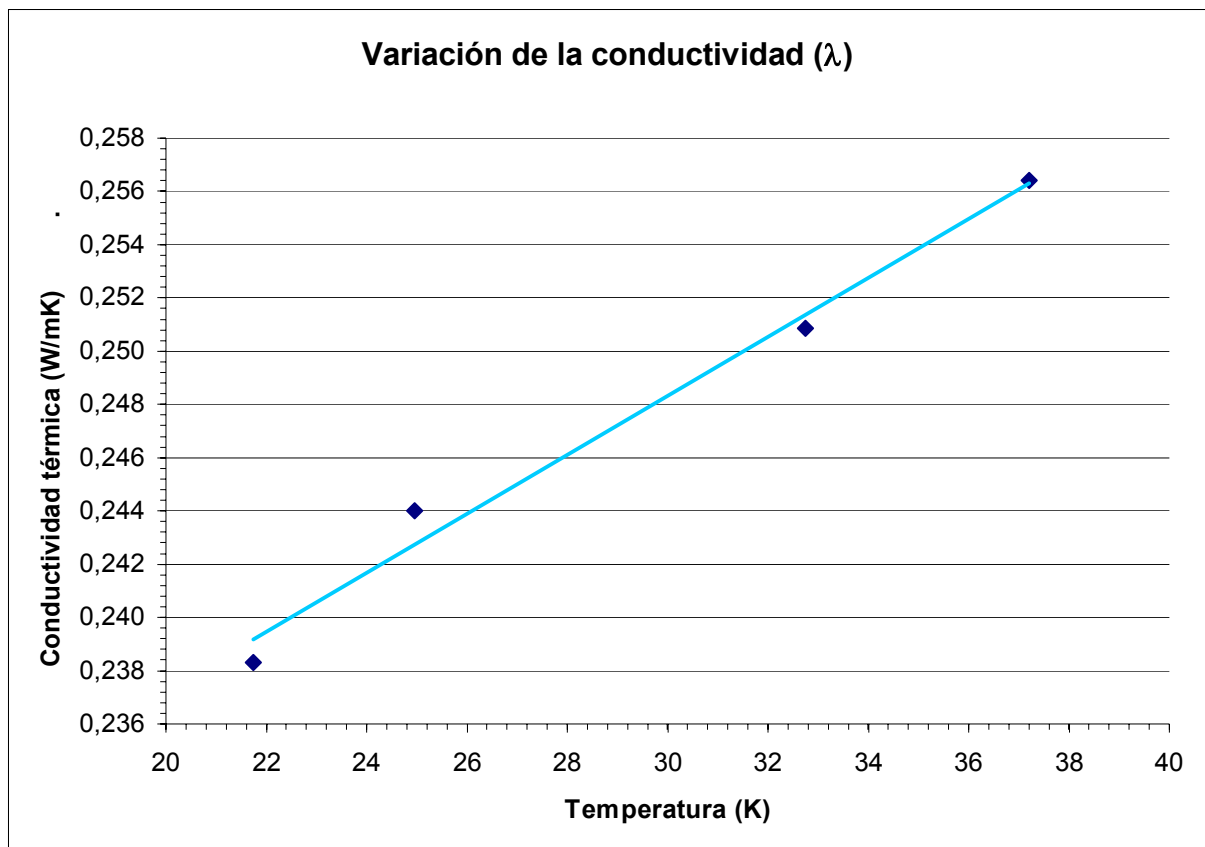
Materiales	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de
		conductividad térmica (W/mK)
Poliuretano expandido	20 a 30	0,25

**Tabla 4. Ensayo de calibración (Espuma de Poliuretano rígida):**

Voltaje	Intensidad	Potencia	T1	T2	T3	T4	$\Delta T_m$	$\Phi$	$\lambda_m$
V	A	W	K	K	K	K	K	W	W/mK
10	0,83	8,30	26,0	48,4	48,2	26,0	22,3	8,30	0,2564
8	0,66	5,28	25,5	40,0	40,0	25,5	14,5	5,28	0,2509
6	0,49	2,94	20,8	29,1	29,1	20,8	8,3	2,94	0,2440
4	0,32	1,28	19,9	23,6	19,9	19,9	3,7	1,28	0,2383

**Tabla 5. Valores obtenidos:**

Materiales	Observaciones	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Coefficiente de conductividad térmica (W/mK)
Poliuretano expandido	Lado de la probeta de 29 cm	28,6±0,1	0,25±0,01

**Gráfica 1. Variación de la conductividad en función de la temperatura:**

<sup>7</sup> Densidad en kg/m<sup>3</sup> a 15% de humedad, y coeficiente de conductividad en W/mK.

## 7. Ficha técnica del dispositivo

Peso:

Dispositivo	100 Kg. aprox.
Sistema de captación de datos	1 Kg.
Fuente de alimentación eléctrica	6 Kg.

Dimensiones:

Dispositivo 825 x 825 x 350 mm (+ Sistema de captación de datos y de potencia eléctrica situados a unos 3 m del sistema.)

Sistema de captación de datos	200 x 300 x 50 mm.
Sistema de potencia eléctrica	230 x 145 x 20 mm.

Resolución:	0,1° hasta 200° 1° a partir de 200°
-------------	--

Alimentación eléctrica:	Fuente alimentación FA-363B
AC: 10, 125, 220, 230, 240 V	$\pm 10\%$ / 50 – 60 Hz

Tensión máxima de salida:	30 V
---------------------------	------

Intensidad máxima de salida:	2 A
------------------------------	-----

Resistencia:	13 $\Omega$
--------------	-------------

Refrigeración con:	H <sub>2</sub> O
--------------------	------------------

Rango de temperatura de ensayo:	10° $\approx$ 75°C (Temp. de placa fría)
---------------------------------	--



Sistema de control termómetro data logger Hibok-18C con pantalla digital de 4 canales x 3 : 12 canales.

Precisión de lectura:  $0 \approx 200^{\circ} \text{C} \pm (0,2\% \text{ Lectura} + 1^{\circ}\text{C})$

Precisión de medida:  $\pm 2 \%$ .

Recopilación de medidas en una base de datos volcada en la interfase de los termómetros. Con conector USB, y RS-232.

Apertura frontal.

Para sondas tipo K.

NOTA: La precisión básica de las especificaciones no incluye el error de las sondas.

## 8. Expresión de los resultados y análisis de errores

### 8.1. Expresión de la conductividad térmica

La conductividad térmica  $\lambda_m$ , expresada en vatios / metro por Kelvin (W/mK), a la temperatura media del ensayo viene dada por la ecuación:[3]

$$\lambda_m = \frac{\Phi \cdot e}{S \cdot \Delta T_m} \quad (\text{Ec.10})$$

donde:

$\Phi$  es el flujo térmico, en vatios, igual a la mitad de la potencia eléctrica disipada en la zona central;

$e$  es el espesor medio, en metros, de las dos probetas;

$S$  es la superficie, en metros cuadrados, del cuadrado de la zona de medición, las dimensiones serán expresadas a partir de la mitad de la ranura que se encuentra entre la zona central y el anillo de guarda;

$\Delta T_m$  es en incremento medio de la temperatura de ensayo, definido en el apartado 5.

La variación de la conductividad térmica o de la resistencia térmica en función de la temperatura media del ensayo debe expresarse gráficamente.

### 8.2. Análisis de errores

La norma empleada EN 12664:2001 da una cierta aproximación, tal como se puede ver en los siguientes párrafos, de los errores en la medida o de la desviación de medida, siempre y cuando se realice el dispositivo como describe la presente norma.[2]

El error total en la determinación de  $\lambda$  es la suma del error sistemático del dispositivo y los errores aleatorios causados por los efectos no deseados.

Si el equipo empleado es diseñado con la precisión indicada, no es necesario considerar el error en el análisis, incluso aunque, en todos los casos con un control de funcionamiento conforme con la Norma EN 1946-2:1999, deben ser tomados previamente para la evaluación inicial del equipo.

El equipo construido y funcionando de acuerdo con esta norma, es capaz de medir las propiedades térmicas, de productos con baja o media resistencia, con una precisión cercana a un  $\pm 2 \%$ .

Si se cumplen con los condicionantes de esta norma y de las normas EN 1946-2:1999 o EN 1946-3:1999, resulta entonces que el mayor valor esperado de la desviación de medida de una característica determinada es un  $\pm 2 \%$ .

La repetibilidad en cuanto a mediciones realizadas por el equipo sobre una muestra mantenida dentro del equipo, sin cambios en las condiciones de ensayo, es normalmente mayor del  $\pm 0,5 \%$ .

Cuando las mediciones son hechas con la misma referencia de la muestra retirada y montada de nuevo, después de largos intervalos de tiempo, la posibilidad de repetición de las mediciones es normalmente mayor del  $\pm 1 \%$ .

Incluso FIW München (Lochhamer Schlag 4, 82166 Gräfelting, München. Tel:+49 89 85800-0), con seguridad uno de los laboratorios de ensayo más reconocido de Europa, garantiza tan solo una exactitud de medida del  $\pm 2 \%$ .

## 9. Informe del ensayo

El informe de los resultados de cada ensayo deberá contener las siguientes especificaciones indicadas por la Norma EN 12664:2001 incluida en el anexo B, siempre y cuando se quiera certificar los resultados:[2,3]

- A. El método usado (placa caliente guardada), tipo, equipo (dos probetas) y las características de identificación del equipo y del material. La temperatura del ambiente alrededor del dispositivo, durante el ensayo. Norma de producto aplicable a la muestra a ensayar
- B. Nombrar o identificar por otro medio el material, incluyendo una descripción física, que ha sido suministrado por el fabricante.
- C. Descripción de la muestra, y referencia a la norma de producto de aplicación con las que el muestreo y la preparación de la muestra fue llevada a cabo.
- D. El espesor de la muestra en metros, especificando bien si ha sido impuesto o medido. Referencia al método específico usado, si ha sido impuesto por una norma de producto. Criterio a partir de la norma de producto para definir el espesor impuesto.
- E. Método y temperaturas de acondicionamiento.
- F. Densidades del material acondicionado tal como se ensaya.
- G. Cambios relativos de masa durante el secado y/o el acondicionado.
- H. Cambio relativo de masa durante el ensayo. Una vez que se ha observado el espesor ( y volumen) que ha cambiado durante el ensayo.

- I. Promedio de la diferencia de temperatura a través de la muestra durante el ensayo en K.
- J. Temperatura media del ensayo en K o en ° C.
- K. Densidad de la relación del flujo de calor a través de la muestra durante el ensayo.
- L. Resistencia térmica o factor de transferencia de la muestra. Cuando sea aplicable la resistividad térmica, la conductividad térmica, la transmisividad térmica, o la transmisividad higrométrica.
- M. Fecha de realización de ensayo; duración del ensayo completo y de la parte de estado estable, si esa información es requerida por norma de producto de aplicación.
- N. Orientación del equipo; vertical, horizontal o cualquier otra orientación.
- O. Para los ensayos realizados usando envolturas impermeables al vapor del agua, la información deberá ser dada, también, sobre la naturaleza y espesor de la envolvente.
- P. Una representación gráfica de los resultados en los informes, debe ser suministrada cuando sea requerida por la norma de producto de aplicación. Esto consistirá en el reflejo de un gráfico, de cada valor de las propiedades térmicas obtenidas referido a la correspondiente temperatura media de ensayo, traspasadas a un gráfico como ordenadas y abscisas respectivamente. Gráfico de la resistencia térmica o del factor de transferencia, como una función de espesor de la muestra, deben ser dadas cuando sean requeridas por la norma de producto de aplicación.
- Q. El informe deberá contener información sobre la resistencia térmica de una superficie estimada. Cuando uno o más requisitos establecidos en la

Norma EN 12664:2001 o en la Norma EN 1946-2:1999 no son totalmente cumplimentados por las muestras, se recomienda que una estimación completa del error o errores en la propiedad medida sea incluida en el informe.

R. Las correcciones sobre el contenido de humedad, no deben ser incluidas en el informe del ensayo, pero si manejados en un informe por separado.

S. Cuando las circunstancias o requisitos excluyan la completa conformidad con el procedimiento del ensayo descrito en esta norma, las excepciones permitidas por la norma de producto, pueden ser realizadas, y no deben de ser específicamente explicados en el informe.

T. Nombre del operario que ejecuta el ensayo.

## 10. Presupuesto

A continuación se describen los gastos más importantes del presupuesto total del proyecto, no obstante, se adjunto una tabla de presupuesto más detallada en el Anexo G.

**Tabla 6. Desglose del coste de materia prima:**

Concepto	Descripción	Coste (€)
Aluminio	Fabricación de las unidades calefactora y refrigerante, a las bases (móvil y fija) y a la brida exterior.	273,30
Kanthal	Fabricación de la resistencia.	1,70
Superwool	Fabricación de las juntas térmicas.	22,78
Kaowool	Fabricación del aislante lateral interno.	240,00
Alúmina	Utilización de tubos para el aislamiento eléctrico y térmico de los extremos exteriores de la resistencia.	40,00
Ladrillos refractarios	Fabricación del aislante lateral sobre la base.	319,00
Fibra de vidrio	Fabricación del aislante eléctrico de la resistencia.	4,57
Varilla roscada	M 5 y M 8 de acero galvanizada; se utiliza para centrar el sistema en el hueco del refractario y para la altura de las patas y ruedas.	4,00
<b>Gastos materia prima</b>		<b>905,35</b>

**Tabla 7. Desglose del coste de accesorios:**

Concepto	Coste (€)
Cinta adhesiva polimérica Kapton	12,50
Rácores, accesorios de neumática y tubo de Poliamida	112,07
Accesorios para el montaje del circuito de refrigeración	17,10
Ruedas AFO de Nylon	13,36
Patas de goma	40,00
<b>Gastos piezas fabricadas y material para la fabricación</b>	<b>155,03</b>

**Tabla 8. Desglose del coste de instrumentación y complementos:**

Concepto	Coste (€)
Fuente de alimentación marca Promax, modelo FAC-363B	437,44
Termómetro HIBOK 18-C data logger 1 x 3	1080,00
Termopares y alargos tipo K	693,48
<b>Gastos piezas fabricadas y material para la fabricación</b>	<b>2210,92</b>

**Tabla 9. Desglose del coste de material de oficina y servicios subcontratados:**

Concepto	Coste (€)
<b>Impresiones, fotocopias y normativa(UNE 92-201-89 y EN 12664:2001).</b>	<b>57,22</b>
<b>Taller mecánico para la fabricación y el montaje de las placas de aluminio de las unidades calefactora y refrigerante y de la base.</b>	<b>656,76</b>

Gasto energético:

Electricidad:

El consumo de electricidad se debe a dos fases, la fase de fabricación y la fase de funcionamiento. Durante la fase de fabricación del dispositivo y de redacción de la memoria, el consumo eléctrico se debe a la luz del despacho, del laboratorio y a la energía consumida por la maquinaria necesaria para la fabricación. El consumo de un fluorescente es de 36 Kwh, entre el despacho y el laboratorio hay 24 fluorescentes, y se han mantenido encendidos 5 horas al día durante 155 días solo en el despacho (12 fluorescentes), 755 horas. En el laboratorio únicamente se ha tenido la luz encendida un 40 % del total (302 h) y a esto se le suma un 25 % del consumo eléctrico total del laboratorio para hacer una aproximación del gasto producido por la maquinaria. [7]



**Tabla 10. Desglose del coste de eléctrico:**

Concepto	Consumo luz(KW)	KWh/Maquinaria	Coste (€)	Total (€)
Despacho	326,16	0,00	28,53	44,50
Laboratorio	130,46	52,19	15,97	

**Agua:**

El gasto de agua se debe a la fabricación del refractario, y a la fase de funcionamiento donde se hace circular agua corriente por la unidad refrigerante para la refrigeración. Para la fabricación del refractario se emplearon 15 cubos de 15 litros cada uno, 225 litros de agua para la fase de fabricación. Para la fase de ensayo y calibración se mantuvo un caudal de 1 l por minuto 11 días y 10 noches. Contando 12 horas de día y 12 de noche, da un consumo de 15.120 l de agua, a 1,19 € el metro cúbico se calcula el coste total. [8,9]

**Tabla 11. Desglose del coste de agua:**

Concepto	Consumo(l)	Consumo(m <sup>3</sup> )	Coste(€)	Total(€)
Fabricación	225	0,225	0,27	18,32
Funcionamiento	15.120	15,12	18,05	

**Gasolina:**

El gasto de gasolina se debe al transporte y la movilidad para ir a citas con proveedores o recoger material, se ha efectuado con un automóvil (Citroen Ax 1.0 First). Sabiendo que el consumo medio del vehículo en circuito urbano es de 7,1 l a los 100 Km[10], que se han hecho 1696 Km y que el precio medio de la gasolina súper 95 es de 1,012 €/l[11], se calcula el consumo y coste total.

**Tabla 12. Desglose del coste de gasolina:**

Concepto	Distancia(Km)	Consumo(l)	Coste(€)	Total(€)
Casa-Universidad	1488,00	105,65	106,92	121,87
Kosmon s.a-Universidad	31,40	2,23	2,26	
Coral s.a-Universidad	31,60	2,24	2,27	
Fermon s.a-Universidad	41,20	2,93	2,96	
Alumafel s.a-Universidad	24,00	1,70	1,72	
Onda radio-Universidad	18,40	1,31	1,32	
Servei estació-Universidad	19,20	1,36	1,38	
Synthesia s.a-Universidad	42,40	3,01	3,05	

Recursos humanos: 9.060,00 €

Para la fabricación del dispositivo solo se ha utilizado un operario que parte su horario en búsqueda de información, en la fabricación y en la redacción de la memoria, para todo ello se ha empleado siete meses, que restando los días de fiesta son 155 días de trabajo, y si se emplean 5 horas al día, nos dan 755 horas empleadas en la fabricación. El sueldo medio estipulado de un ingeniero superior recién titulado es de 12 €/hora.[12]

El presupuesto no contempla la amortización de la maquinaria, así como una amortización por fabricación de grandes tiradas al ser un único prototipo.

**Tabla 13. Desglose del coste total del proyecto:**

Concepto	Coste(€)	Total(€)
Materia prima	905,35	13343,29
Accesorios	155,03	
Instrumentación y complementos	2210,92	
Material de oficina	57,22	
Servicios subcontratados	565,76	
Gasto energético	184,69	
Recursos humanos	9060,00	
Otros gastos	113,32	

a continuación se realiza una aproximación del coste total por ensayo teniendo en cuenta los consumos de luz, la potencia eléctrica aplicada a la resistencia y el agua utilizada.

**Tabla 14. Desglose del coste total ensayo:**

Concepto	Electricidad (kW)	Coste (€)	Agua (m <sup>3</sup> )	Coste (€)	Total (€)
Ensayo	8,0132	0,7006	15,12	18,05	18,75

El coste de cada ensayo es de 18,75 €, aunque puede reducirse notablemente colocando un circuito cerrado de refrigeración.

La siguiente lista describe los proveedores más relevantes en la fabricación del dispositivo.

**Kosmon, s.a.** c/ Gall, 47 3ª planta, Pol. Ind. El gall; 08950 Esplugas de Llobregat, BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 934 706 420

**Alumafel**, c/ Cobalt, 119; 08907 L'Hospitalet de Llobregat, BARCELONA, ESPAÑA. Fax: 933 379 500

**CORAL SAS**, c/ Pere IV, 194-200; 08005 BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 933 096 500

**Onda radio**, c/ Gran via de les corts catalanes, 581; BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 934 525 100

**Ferretería Fermon**, c/ Apeles mestres, 9; 08820 El Prat de Llobregat, BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 933 790 320

**Servicio estación**, c/ Aragón 270-272; BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 933 932 410

**Synthesia Española, s.a.**, c/ Coure, 6, Pol. Ind. Can Pelegrí; 08755 Castellbisbal, BARCELONA, ESPAÑA. Telf: 936 821 300

## 11. Estudio de la sostenibilidad

### 11.1. Introducción

En los últimos años ha habido una mayor preocupación por el calentamiento del planeta, por los efectos de la contaminación y por el avance tecnológico e industrial de las sociedades de una manera sostenible.

Mi opinión personal es que el estudio de la sostenibilidad debe empezar ya a ser una obligación en la ejecución de cualquier proyecto. Teniendo en cuenta los objetivos y la finalidad principal del presente proyecto que es la reducción de emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por una mayor eficiencia de los materiales, no podía faltar el siguiente estudio.

En el apartado siguiente, estudiaremos las necesidades energéticas de electricidad, gas y agua asociadas al proyecto y se desglosa el mismo en función del impacto ambiental según en las siguientes fases:

Fabricación del dispositivo.

Funcionamiento.

Movilidad durante el proyecto.

En los siguientes párrafos extraídos del estudio de la repercusión ambiental de la EUPVG (Edificios y aularios de la Universidad politécnica de Vilanova i la Geltrú) se describen los inicios del estudio del impacto ambiental utilizado en el presente proyecto[13].

En el estudio del impacto ambiental es difícil considerar que existe un indicador ideal para medir los efectos ambientales, por eso se utiliza como indicador los quilogramos de dióxido de carbono emitidos a la atmósfera como consecuencia de las fases anteriormente mencionadas, ya que permiten mostrar los resultados de forma clara y comparable.

Se utiliza como indicador los kilogramos de dióxido de carbono emitidos a la atmósfera. Este indicador esta en la línea de la huella ecológica concepto y método de cálculo desarrollado por miembros de la Universidad de British Columbia, Vancouver (Canadá). Es necesario recordar que la emisión de dióxido de carbono es una de las principales causas del efecto invernadero y del calentamiento global del planeta.

En 1995, los urbanistas William Rees y Mathis Wackernagel, miembros del Grupo para Comunidades sanas y sostenibles de la Universidad de British Columbia, Vancouver(Canadá), introducen el concepto de huella ecológica. Este concepto se define como: “la superficie de territorio ecológicamente productiva necesaria para generar los recursos utilizados y asimilar los residuos producidos por una población definida con un nivel de vida determinado”.

Se trata de una herramienta de cuantificación ecológica que utiliza áreas de terreno como unidad de medida. Para expresar los resultados en unidades de terreno, existen diferentes métodos para aproximar el cálculo de las hectáreas asociadas a la producción de energía. En este proyecto se ha elegido la cantidad de tierra que se necesita para absorber el correspondiente dióxido de carbono emitido por el consumo de combustibles.

Para hacer la conversión, se sabe que el bosque de la Cataluña Central fija unos 125g de dióxido de carbono por metro cuadrado y año. Esto supone fijar 4,58Tn de dióxido de carbono por hectárea y año[13].

### 11.2 Impacto ambiental por consumos

A continuación se estudian las necesidades energéticas de las actividades anteriormente numeradas en el apartado 11.1. y en cada una de las actividades los consumos energéticos de agua, gas, electricidad y gasolina. Para cada uno de los consumos hay un factor de conversión a kilos de dióxido de carbono para calcular y saber cual es el impacto y las hectáreas de arboleda correspondientes, cual es la huella ecológica.

Para la electricidad el factor de conversión utilizado para determinar las emisiones de CO<sub>2</sub> en kilogramos de dióxido de carbono es: [13]

$$0,545 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$$

Para calcular los kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera al consumir gas natural (99 % metano, CH<sub>4</sub>), se utiliza el siguiente factor de conversión de m<sup>3</sup> de gas a KW: [13]

$$11,66 \text{ kWh} / \text{m}^3 \text{ de gas natural}$$

una vez se tienen KW se pasa a kilogramos de dióxido de carbono con el siguiente factor: [13]

$$0,2 \text{ kg CO}_2 / \text{kWh}$$

Para el consumo de agua únicamente se menciona el gasto total asociado al proyecto, debido a que es una fuente de energía renovable, no es necesario realizar una conversión a emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera en kilogramos de dióxido de carbono.

Para calcular los kilogramos de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera al consumir gasolina, nos basamos en los datos suministrados en la clase de impacto ambiental impartida por el Dr. José Antonio Ayllón de la Universidad Autònoma de Barcelona[14]:

$$2,13 \text{ kg de CO}_2 / \text{litro}$$

Sabiendo que la cantidad de dióxido de carbono absorbida por hectárea y año es del orden de:

$$4,58 \text{ Tn de CO}_2 / \text{hectárea}$$

Este valor se ha obtenido a partir de los datos de producción de energía eléctrica de Cataluña. [13]

#### 11.2.1. Fabricación del dispositivo

Los consumos más elevados de electricidad en esta fase, corresponden al uso de fluorescentes, del ordenador, del taladro y la maquinaria necesarias para la fabricación de las piezas (exceptuando las fabricadas exteriormente en talleres subcontratados). Las dos salas empleadas en esta fase son el despacho y el laboratorio, en cada uno hay 12 fluorescentes pero solo el despacho ha estado encendido las 755 horas totales, mientras que el laboratorio solo estuvo encendido un 40 % de las 755 horas totales (302 horas), para el consumo de potencia eléctrica en maquinaria se hace una aproximación de un 25 % más de la total consumida en el laboratorio.

El consumo de agua en esta fase se debe, únicamente, a la construcción del aislante refractario. Tal como se ha calculado en el apartado 9 el gasto de agua asciende a 225 litros.

No existe ningún consumo de gas a lo largo de toda esta fase.

**Tabla 14. Consumos e impacto de la fase de fabricación:**

Concepto	Electricidad (kW)	kg de CO <sub>2</sub>	Hectáreas	Agua (l.)	Hectáreas de la fase
Despacho	326,16	177,7572	0,0388	0,00	0,0543
Laboratorio	130,46	71,1007	0,0155	225,00	

La huella ecológica producida por el consumo energético en la fase de fabricación es de 0,0543 hectáreas, y el agua consumida es 225 l.

### 11.2.2. Funcionamiento

Esta fase define también el impacto ambiental que tiene el dispositivo por ensayo, por tanto, es conocida la huella ecológica del ensayo y las hectáreas de bosque correspondientes, dato que a pesar de no ser contemplado por la norma vigente debería complementarse en el informe del ensayo redactado en el apartado 8.

El consumo eléctrico de esta fase se debe a la potencia aplicada a la unidad calefactora, y la luz del laboratorio durante el ensayo.

El consumo de agua de esta fase se debe a la introducida en la unidad refrigerante. Actualmente el dispositivo está diseñado para alimentarse de la red general, pero está previsto reducir este consumo colocando el circuito del refrigerante cerrado con una bomba, de esta forma también se reducen las diferencias de temperaturas entre focos fríos.

El consumo de agua del circuito de refrigeración durante su funcionamiento representa un porcentaje considerable del consumo de agua total durante el proyecto.

No existe ningún consumo de gas o gasolina a lo largo de toda esta fase.

**Tabla 15. Consumos e impacto ambiental por cada ensayo:**

Concepto	Electricidad (kW)	kg de CO <sub>2</sub>	Hectáreas	Agua (l.)	Hectáreas por ensayo
Ensayo	8,0132	4,3672	0,0010	15120,00	0,0010

La huella ecológica producida durante el ensayo es de 0,001 hectáreas, y el consumo de agua para la fase de calibración de 15.120 l. El consumo de agua se reduce a 0 durante los ensayos posteriores por realizar el circuito de refrigeración cerrado con una bomba de pecera.



### 11.2.3. Movilidad

Para la realización de este proyecto se ha tenido que trasladar a recoger material o para tratar en persona con proveedores, todos los desplazamientos se han hecho en automóvil (Citroen Ax 1.0). Teniendo en cuenta la distancia recorrida y que el consumo medio del vehículo es de 7,1 litros a los 100 Km en circuito urbano; con estos datos y con los factores comentados en el apartado 10.2 se hace una aproximación de los Kg. de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera.

En la tabla 6 se hace un desglose detallado del kilometraje realizado a lo largo del proyecto.

No existe ningún consumo de electricidad, agua o gas a lo largo de toda esta fase.

**Tabla 16. Consumos e impacto causados por la movilidad:**

Concepto	Distancia (Km)	Gasolina (l.)	kg de CO <sub>2</sub>	Hectáreas por la movilidad
Movilidad	1696,20	120,4302	256,5163	0,0560

La huella ecológica producida por todos los desplazamientos es de 0,056 hectáreas.

### 11.3. Resultados del estudio de la sostenibilidad

En la tabla 17 se calcula el impacto ambiental total asociado a este proyecto y se observa cual es la fase con mayor impacto ambiental.

**Tabla 17. Consumos e impacto causados por la movilidad:**

Concepto	kg de CO <sub>2</sub>	Hectáreas	kg de CO <sub>2</sub> totales	Hectáreas totales
Fabricación	248,8579	0,0543	509,7414	0,1113
Ensayo	4,3672	0,001		
Movilidad	256,5163	0,056		

Como resultado de aplicar el método de huella ecológica para evaluar el impacto ambiental generado durante el proyecto, se puede sacar la conclusión que se necesitan 0,1113 hectáreas de bosque para fijar el dióxido de carbono generado durante el desarrollo del proyecto.

## 12. Conclusiones

La primera conclusión es que teniendo en cuenta la norma UNE 92-201-89, es posible la fabricación de un dispositivo capaz de aplicar un flujo de calor a través de un material y medir la diferencia de temperatura entre focos frío y caliente, para calcular la conductividad intrínseca de materiales secos de alta resistencia térmica y baja temperatura de uso.

Como segunda conclusión decir que el aislamiento del dispositivo en el plano de medida ( $x$ ,  $y$ ) debe ser el mayor posible, porque de éste depende directamente la precisión del dispositivo; los errores en la medida son mayores cuanto menor sea el aislamiento lateral. Así mismo, la humedad de las probetas es un posible factor muy importante, ya que, aporta desviaciones en el resultado debido a la evaporación de dicha humedad. Es necesario esperar 28 días para materiales de construcción con aglomerantes como cemento, morteros o yeso, antes de comenzar el ensayo.

## 13. Índice de planos

Todos los planos están adjuntos aparte de la memoria pero se pueden encontrar reducidos en el anexo E.

### Nombre de plano:

### N.º de plano:

Plano de despiece.	1
Tabla despiece.	2
Plano de conjunto.	3
Conjunto unidad calefactora.	4
Conjunto unidad refrigerante.	5
Conjunto base-refractario fija	6
Conjunto base-refractario móvil	7
Anillo de guarda.	8
Bloque refractario.	9
Placa base fija.	10
Placa base móvil.	11
Placa de refrigeración	12
Placa de uniformización.	13
Probeta	14
Resistencia.	15
Tapa placa refrigeración.	16
Tapa aislante térmico.	17
Termopar encamisado tipo K.	18
Termopar diferencial 20 puntos tipo K.	19
Termopar diferencial 4 puntos tipo K.	20
Tubo cobre	21
Junta térmica	22

## 14. Símbolos y unidades

Símbolos	Calidad	Unidad
$a$	altura	m
$A$	área	$m^2$
$b$	base	m
$c$	calor específico	J/KgK
$e$	espesor	m
$\in T$	diferencia de temperatura media central-guarda	K
$\Phi$	flujo térmico	W
$\theta_{mc1}$	temperatura media cara caliente probeta 1	K
$\theta_{mc2}$	temperatura media cara caliente probeta 2	K
$\theta_{mf1}$	temperatura media cara fría probeta 1	K
$\theta_{mf2}$	temperatura media cara fría probeta 2	K
$\theta_{m1}$	temperatura media probeta 1	K
$\theta_{m2}$	temperatura media probeta 2	K
$\theta_m$	temperatura media de ensayo	K
$\rho$	densidad	$Kg/m^3$
$\rho_m$	densidad media	$Kg/m^3$
$h$	horas	h
$I$	intensidad	A
$\Delta T_1$	incremento medio de temperatura de las probetas	K
$\Delta T_2$	incremento medio de temperatura de las probetas	K
$\Delta T_m$	incremento medio de temperatura de ensayo	K
$k$	conductividad térmica	W /mK
$L$	longitud	m
$l$	distancia entre espiras	m
$M$	masa	Kg
$m$	flujo másico	Kg/s
$P$	potencia	W
$q$	transferencia de calor	W
$Q$	flujo de calor	J
$R$	resistencia	$\Omega$
$s$	segundos	

Símbolos	Calidad	Unidad
S	sección	m <sup>2</sup>
T	temperatura	K
t	tiempo	seg.
V	voltaje	V
Vol	volumen	m <sup>3</sup>

## 15. Referencias bibliogràfiques

1. Informe “Proyectos de investigación industrial y de desarrollo, estudios de viabilidad técnica, y actuaciones favorecedoras de la participación en programas de cooperación internacional en materia de I + D + I “. 2007
2. Norma EN 12664:2001, AENOR 2002; Deposito legal: M 34409:2002
3. Norma UNE 92-201-89, AENOR 1989; Deposito legal: M 19495-89
4. Frank P. Incropera, David P. DeWitt. “Fundamentos de transferencia de calor”; 4ª ed. 1999. Capítulos: 2, 3, 8.
5. Apuntes de comportamiento eléctrico y térmico de los materiales, clase impartida por Dr. Jordi Pascual; 1º Ingeniería de materiales UAB, 2004.
6. Diccionario de la Real Academia Española. [www.rae.es](http://www.rae.es) fecha consulta 20-11-06.
7. [www.fecsa.es/Canal\\_Comercial/Negocios/asesoramiento/tarifas\\_vigentes/cuadro\\_de\\_tarifas.vigentes1.asp](http://www.fecsa.es/Canal_Comercial/Negocios/asesoramiento/tarifas_vigentes/cuadro_de_tarifas.vigentes1.asp). fecha consulta 10-5-07.
8. [www.aiguesdebarcelona.es/costa.asp?tipo=tarifas](http://www.aiguesdebarcelona.es/costa.asp?tipo=tarifas) fecha consulta 10-5-07.
9. Ordenança metropolitana reguladora de la tarifa del servei de subministrament domiciliari d'aigua potable. (Aprovada definitivament el 31/12/2001 pel consell metropolità de l'entitat metropolitana dels serveis hidràulics i del tractament de residus publicada en el B.O. de la provincia de Barcelona núm. 44 de 20/2/2002.)
10. [www.tuning-on.com/foro/forum\\_posts.asp?TID=7498&FID=548&PN=1](http://www.tuning-on.com/foro/forum_posts.asp?TID=7498&FID=548&PN=1) fecha consulta 10-5-07.

11. [www.consumer.es/web/es/economia\\_domestica/2005/08/09/1444361.php](http://www.consumer.es/web/es/economia_domestica/2005/08/09/1444361.php)  
p fecha consulta 10-5-07
12. [www.upf.edu/oil/noticies/expansion\\_empleo\\_200506.pdf](http://www.upf.edu/oil/noticies/expansion_empleo_200506.pdf) fecha consulta  
3-5-07.
13. “EUPVG. *Repercusión ambiental en la EUPVG*. Vilanova i la Geltrú, UPC, 2000” [www.upc.es/mediambient/coordinacio/rambEUPVG/intro\\_esp.htm](http://www.upc.es/mediambient/coordinacio/rambEUPVG/intro_esp.htm) fecha consulta 8-3-07.
14. Apuntes de impacto ambiental, clase impartida por el Dr. Jose Antonio Ayllón; 2º Ingeniería.
15. [www.bahiablanca.gov.ar/ciudadano/edificación/adm\\_36.html](http://www.bahiablanca.gov.ar/ciudadano/edificación/adm_36.html) fecha  
consulta 1-11-06.
16. [www.construir.com/Econsult/Construr/Nro64/ais-term.htm](http://www.construir.com/Econsult/Construr/Nro64/ais-term.htm) fecha consulta  
1-11-06.
17. [www.amidata.es/cgi-  
bin/bv/rswww/searchBrowseAction.do?Nr=av1%3aes&N=...](http://www.amidata.es/cgi-bin/bv/rswww/searchBrowseAction.do?Nr=av1%3aes&N=...) fecha  
consulta 9-6-07

### **Correspondencia con otras normas:**

La norma empleada (UNE 92-201-89) concuerda parcialmente con la norma ISO 2585:1978.

La norma empleada (UNE EN 12664:2001) es ampliada con requisitos más detallados en la norma ISO 8302:1991 y EN 1946-2:1999.

Las medidas del espesor en productos de alta y media resistencia térmica están comprendidas por la norma EN 12939.



## 16. Agradecimientos

Dr. Santiago Surinyach Dept. de Física de Materials , Facultat d'Enginyeria  
Técnica Superior UAB.

Dra. Ana Inés Fernández Dept. Ciència dels materials i Enginyeria  
Metal·lúrgica, facultat de química UB.

Dr. Xavier Granados ICMAB Bellaterra, UAB

Dra. Merçè Segarra Dept. Ciència dels materials i Enginyeria Metal·lúrgica,  
facultad de química UB.

Dr. Xavier Garcia Capdevila Dept. Ciència dels materials i Enginyeria  
Metal·lúrgica, facultad de química UB.

Joan Josep Roa Dept. Ciència dels materials i Enginyeria Metal·lúrgica,  
facultad de química UB.

Dr. Josep Jimeno de Synthesia s.a., Pol. Industrial Can Pelegrí, c/Coure 6

Sr. Josep Coscollola Codina director tècnic de Kosmon s.a. c/ Gall 47 3ª Pol.  
Ind. El Gall 08950 Esplugas de Ll.

## **17. Anexos**

- A. Norma UNE 92-201-89
- B. Norma UNE EN 12664:2001
- C. Selección de materiales de la unidad calefactora
- D. Hoja de calibración del termopar diferencial de 20 puntos de control
- E. Ejemplo de hoja de resultados
- F. Planos
- G. Tabla presupuesto detallado
- H. Ficha técnica del Poliuretano expandido
- I. PNT del dispositivo